

железа, λ_0 – параметр деформационного взаимодействия, а η – параметр порядка в теории Хачатуряна. Величина ${}^0L_{Fe,Va,C}^{bcc}$ в модели ХиллERTA-Стаффонсона эквивалентна энергии смешения атомов углерода и октаэдрических пор. Критика Агреном значения этой величины у Густафсона и сделанные Маклелланом и Бхадешиа поправки привели в итоге нас к величине 1300 кДж/моль, которая использовалась при совместном решении уравнений (1) и (2). Результаты расчета представлены на Рис.1 в виде диаграммы, из которой видно, что при 300 К кубический мартенсит, содержащий 0,24 масс.% С находится в равновесии с тетрагональным мартенситом с концентрацией 0,57 масс.% С. Приблизительно в этом интервале наблюдается нарушение линейности отношения c/a в зависимости от содержания углерода по Г.В. Курдюмову [3].

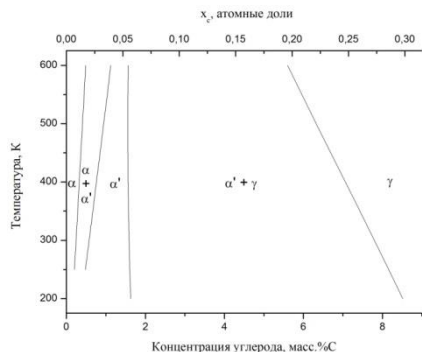


рис.1. Низкотемпературная метастабильная диаграмма фазового равновесия Fe-C.

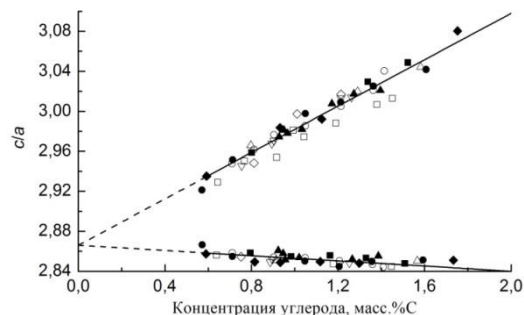


рис.2. Зависимость отношения параметров решетки c/a углеродистого мартенсита от содержания углерода по Курдюмову.

Список публикаций:

- [1] Мирзаев Д.А., Мирзоев А.А., Булдашев И.В., Окишев К.Ю. // ФММ. 2017. Т. 118. № 6. С.547-553.
 [2] Хачатурян А.Г. Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. М.: Наука, 1974. 384 с.
 [3] Курдюмов Г.В. Явления закалки и отпуска. М., Металлургиздат, 1960. 64 с.

Формирование текстуры деформационными методами в сплавах Гейслера

Габдрахманова Лилия Айратовна¹

Мусабилов Ирек Ильфирович², Сафаров Ильфат Миндигалеевич², Галеев Рафаил Мансурович²,
 Гайфуллин Руслан Юнусович¹, Абдуллина Динара Рамиловна¹, Мулюков Радик Рафикович²

¹Башкирский государственный университет

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

la-gabdrahmanova@mail.ru

Сплавы Гейслера демонстрируют такие уникальные свойства как ферромагнитный эффект памяти формы, магнитокалорический эффект и др. Недостатком сплавов является низкие механические свойства, которые проявляются в том, что в результате многократных циклов мартенситного превращения образец сплава разрушается. Одним из способов решения проблемы является деформационно-термическая обработка (ДТО) литого сплава. При этом в процессе обработки необходимо получение не только структуры, обеспечивающей повышение механических свойств сплава, но и обеспечение максимально возможной величины функционального эффекта. Для этого необходимо создание в материале острой текстуры.

В работе представлены результаты исследования влияния на микроструктуру и формирование текстуры комбинированной деформационно-термической обработкой методом всесторонней изотермическойковки и экструзии сплава семейства Ni-Mn-Ga. Для этого был выплавлен сплав методом аргоно-дуговой плавки. Слиток сплава обычно имеет форму неподходящую для деформационной обработки. С этой целью сплав был залит в кварцевый стакан и подвергнут дополнительной вакуумной индукционной переплавке в кварцевом стакане. В итоге был получен сплав состава $Ni_{2.26}Mn_{0.80}Ga_{0.89}Si_{0.05}$. Наличие кремния обусловлено его проникновением в слиток в процессе его переплавки в кварцевом стакане. Анализ элементного состава показывает, что его распределение в объеме материала равномерно. Экспериментальные исследования показывают, что экструзия сплава в литом состоянии при 700°C не приводит к фрагментации зеренной структуры. Потому сплав был подвергнут комбинированной ДТО методом всесторонней изотермическойковки при 700°C и последующей экструзии при 700°C в оснастке с переходом 10 мм → 5 мм ($\epsilon=1.39$). В результате такой обработки в сплаве была сформирована острая металлографическая текстура, в которой наблюдаются вытянутые зерна длиной до 1 мм и 100-200 мкм в поперечнике. При этом эти крупные зерна окружены

мелкозернистой структурой. Такой тип микроструктуры должен способствовать повышению стабильности функциональных свойств сплав Гейслера в результате многократных циклов мартенситного превращения.

Анализ термического расширения в области мартенситного превращения показывает, что в результате комплексной ДТО в сплаве наблюдается анизотропия скачкообразного изменения геометрических размеров образца. Формирование как можно большей величины анизотропии прямо отражается на величине ферромагнитного эффекта памяти формы.

Работа выполнена в рамках госзадания ИПСМ РАН и при поддержке гранта РФФИ 18-08-01434 А.

Влияние температуры пластической деформации методом экструзии на анизотропию термического расширения сплава Гейслера системы Ni-Mn-Ga

Гайфуллин Руслан Юнусович¹

Мусабилов Ирек Ильфирович², Сафаров Ильфат Миндигалеевич², Галеев Рафаил Мансурович²,

Абдуллина Динара Рамиловна¹

¹*Бакинский государственный университет*

²*Институт проблем сверхпластичности металлов РАН*

Мусабилов Ирек Ильфирович, к.ф.-м.н.

gaifullin_1998@bk.ru

В сплавах Гейслера в области комнатных температур протекает мартенситное превращение, в интервале которого наблюдаются такие эффекты как ферромагнитный эффект памяти формы и магнитокалорический эффект. Благодаря этим эффектам сплавы относят к классу функциональных материалов. Недостатком данных сплавов является то, что при циклическом протекании прямого и обратного мартенситного превращения поликристаллические образцы подвержены разрушению. В металлах и сплавах основным способом повышения механических свойств и параллельно усиления анизотропии физических свойств, в том числе и кристаллографической текстуры является деформационно-термическая обработка материала такими методами как, например, прокатка, интенсивная пластическая деформация кручением (ИПДК), всесторонняя изотермическая ковка (ВИК) и др. При этом большинство методов ДТО, применяемых для получения новых материалов с требуемыми свойствами не лишены некоторых недостатков. Например, прокатка и ИПДК ограничены в размерах конечных заготовок материала, получаемых в виде тонких пластин. При деформации сжатием (осадке) модифицированная структура заготовки получается неоднородной по объему. С этих позиций наибольшую практическую значимость имеет метод ВИК, позволяющий добиться формирования требуемой микроструктуры в объемной заготовке без присущей другим методам неоднородности. Однако возникает вопрос об устойчивости эффекта при многократных циклах мартенситного превращения. Для усиления функциональных эффектов необходимо в материале получить острую кристаллографическую текстуру. В процессе обработки ковкой и в процессе протяжки на последних этапах деформации возможно создание текстуры. Однако ее острота может быть недостаточной. Для получения материала с острой кристаллографической текстурой наиболее интересным методом является экструзия. Этот метод позволяет получить острую кристаллографическую и металлографическую текстуры и повысить анизотропию некоторых физических свойств, тем самым повысить величину ферромагнитного эффекта памяти формы. Формирование деформационными методами в обрабатываемом материале, наряду с кристаллографической текстурой, так и больших полей внутренних напряжений также является одной из важных задач повышения функциональных характеристик материала.

В данной работе приведены результаты исследования влияния температуры деформационной обработки ковкой с последующей экструзией на мартенситное превращение в сплаве Гейслера семейства Ni₂MnGa. Проведен сравнительный анализ температурной зависимости термического расширения сплава после комбинированной ДТО ковкой при 700°C и экструзией, проведенной либо при 700°C либо при 600°C.

Исследование проведено на dilatометре с датчиком перемещения на основе дифференциального трансформатора. Запись кривых $\Delta l/l(T)$ проводилась при нагреве и охлаждении образца в интервале от +150°C до +240°C, в котором реализуется мартенситное превращение. Анализ полученных данных показывает, что деформационно-термическая обработка поликристаллического сплава Гейслера методом ВИК с последующей экструзией при 600°C и 700°C приводит к формированию анизотропии термического расширения в области мартенситного превращения. Так образцы, вырезанные поперек оси экструзии, в процессе прямого мартенситного превращения испытывают скачкообразно сокращение длины. При этом вклад мартенситного превращения в скачкообразное изменение относительного удлинения образца в случае обоих образцов отличается. В образце, который подвергся экструзионной обработке при 600°C величина вклада мартенситного превращения в изменение относительного удлинения образца меньше, чем после экструзии при 700°C. Хотя